

Radim ČAJKA¹, Petr MARTINEC²

**PORUCHY STAVEBNÍCH OBJEKTŮ VLIVEM OBJEMOVÝCH ZMĚN
OCELÁRENSKÉ STRUSKY**

**STRUCTURAL FAILURES OF BUILDINGS CAUSED BY VOLUME CHANGES
OF STEEL SLAG**

Abstrakt

Článek se věnuje poruchám stavebních objektů vlivem objemových změn ocelářenské strusky v podloží nemocnice v Ostravě – Porubě. Budovu tvoří monolitická železobetonová skeletová konstrukce s podlahovými deskami založenými na struskovém podloží. Poslední naměřené přírůstky deformací prokazují, že bobtnání strusky v podloží pokračuje a dle naměřených závislostí nedochází k ustálení pohybů.

Klíčová slova

Ocelářenská struska, objemové změny, poruchy staveb

Abstract

The paper deals with structural failures of buildings caused by volume changes of steel slag in subsoil of hospital in Ostrava-Poruba. The building consists of a monolithic reinforced concrete frame structure with floor slabs on slag sub-base. Latest measured increases in deformations show that the slag swelling in the sub-soil continues, and as the measured dependences show, there is no stabilization of the movement.

Keywords

Steel slag, volume changes, structural failures of buildings

1 ÚVOD

Nosnou konstrukci vstupního objektu Fakultní nemocnice v Ostravě – Porubě tvoří monolitická železobetonová skeletová konstrukce se skrytými průvlaky a stropními deskami o půdorysných rozměrech cca 64 x 31 m. Objekt vystupuje jedním podlažím nad úroveň přilehlého terénu a dalšími dvěma podlažími je zapuštěn pod jeho úroveň. Přechody mezi jednotlivými výškovými úrovněmi byly při výstavbě vyrovnány struskovým podsypem, který v některých částech dosahuje mocnosti až 4 m.

Podlahové konstrukce tl. 100 až 200 mm z betonu třídy C 16/20 leží na podkladním betonu tl. 150 mm se svařovanou sítí [1].

Při prohlídce objektu v 10/2006 byly ve vstupní části, sociálních zařízeních, prodejně potravin, skladech a spojovacích chodbách zaznamenány šikmé smykové trhliny v obvodových stěnách

¹ Prof. Ing. Radim Čajka, CSc., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 344, e-mail: radim.cajka@vsb.cz.

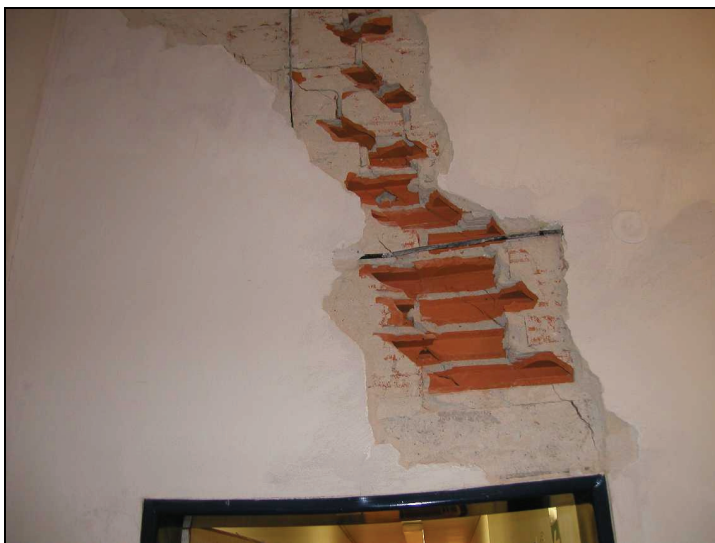
² Prof. Ing. Petr Martinec, CSc., Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 967, e-mail: petr.martinec@vsb.cz.

a navazujících příčkách. Dveřní otvory a zárubně jsou pokřivené a zkosené, povrch podlah je vyboulený směrem nahoru a prostoupen trhlínami. Ve vstupní části před sociálním zařízením (WC muži, ženy, úklidové komory) dochází k vyboulení a odlupování dlaždic viz obr. 1.



Obr. 1: Deformace podlahy a dlažby

Na některých místech již dosahují deformace takových hodnot, že dochází k destrukci zdiva a odpadávání části děrovaných cihel, viz obr. 2 [1].



Obr. 2: Pohled na rozdrčené zdivo příčky

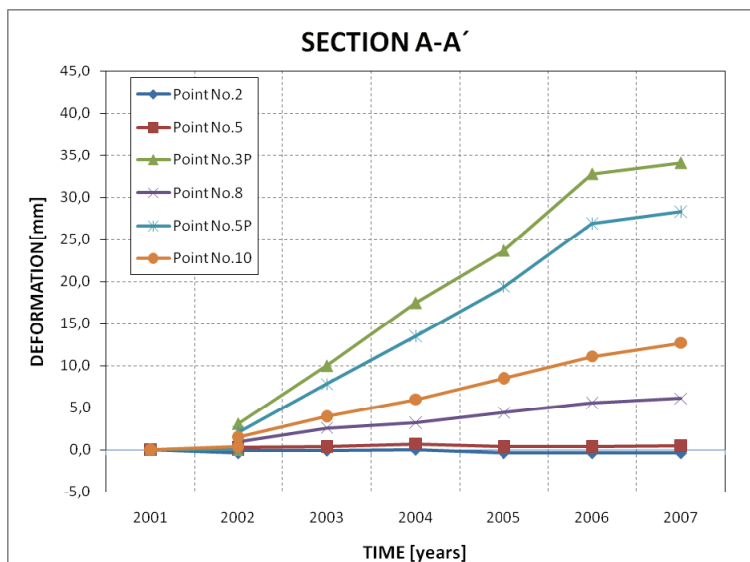
2 NAMĚŘENÉ PŘÍRUSTKY SVISLÝCH POSUNŮ

Pro ověření, zda dochází k sedání základů či zvedání podlahy, bylo provedeno měření svislých deformací pomocí osazených stabilizovaných bodů. Měřící body umístěné na nosných sloupech železobetonového skeletu jsou v grafech naměřených hodnot označeny pouze číslem. Body osazené na podlaze jsou pak označeny pořadovým číslem s indexem “P”.

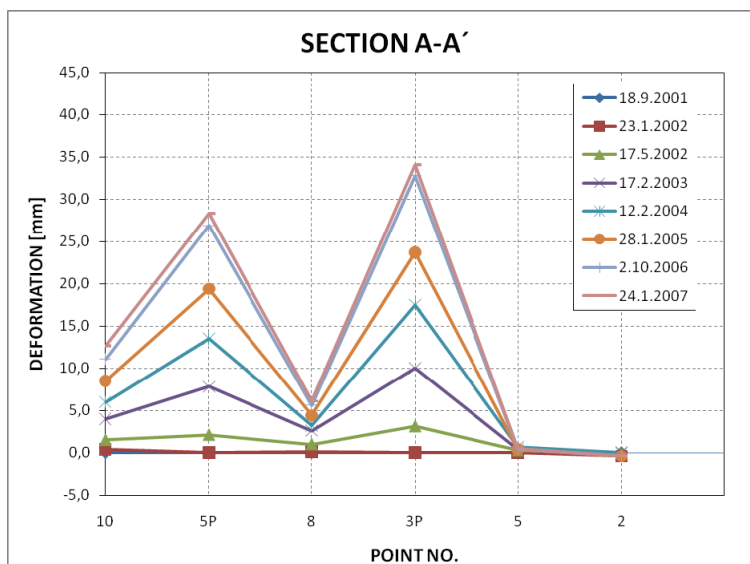
Měření svislých posuvů bylo zahájeno 18. 9. 2001. Naměřené spojitě nerovnosti podlah dosáhly až 110 mm, přičemž však výšky nebyly vztaženy k pevným bodům.

Další měření z 23. 1. 2002 již byly vztaženy k pevně fixovaným (stabilizovaným) výškovým bodům osazených na podlaze a nosných sloupech.

Z výsledků měření jednoznačně vyplývá, že nedochází k sedání pilotových základů, ale k vyboulení podlahových konstrukcí směrem nahoru. U některých sloupů je dokonce naměřena jejich deformace směrem nahoru (negativní sedání).



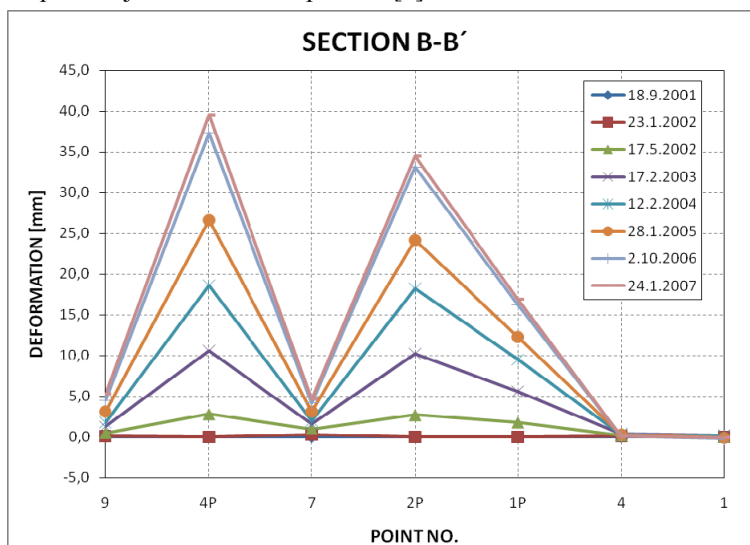
Obr. 3: Časový průběh svislých deformací měřených bodů v řezu A-A



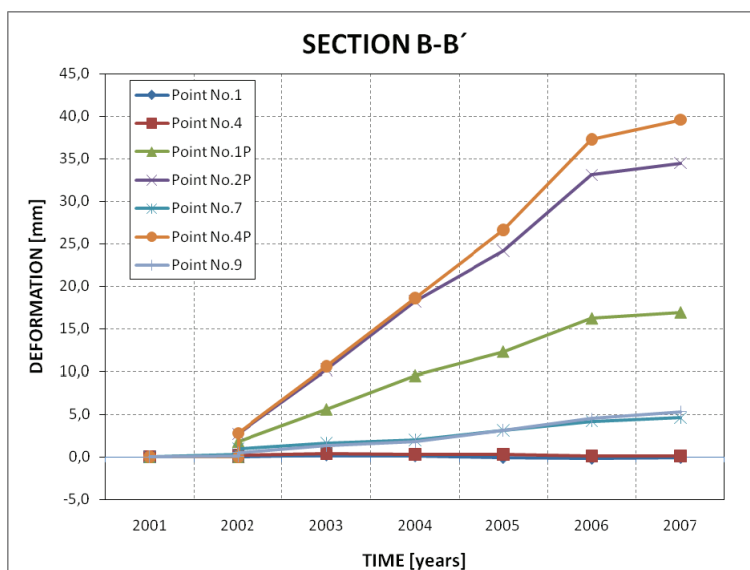
Obr. 4: Průběh svislých deformací měřených bodů na sloupech a na podlaze v řezu A-A

Časový průběh deformací v jednotlivých příčných profilech a bodech je zřejmý z obr. 3 až 6. Maximální vyboulení podlahy dosáhlo za období od 23. 01. 2002 do 24. 1. 2007 hodnoty 39,6 mm a za dalších 15 měsíců k 24. 4. 2008 pak hodnoty 46,1 mm (maximální přírůstek 6,5 mm za 15 měsíců). K této hodnotě je však nutno přičíst počáteční deformace cca 110 mm, takže k poslednímu měření dosáhly výškové nerovnosti podlahy přes 150 mm a deformace stále pokračují. Tyto pokračující deformace zřejmě souvisí s další reakcí s vodou či vodní párou, která může být

do podloží primárně přiváděna ve formě průsaků vody srážkové, sekundárně však i z porušené ležaté kanalizace vlivem pokračujících deformací podloží [1].



Obr. 5: Průběh svislých deformací měřených bodů na sloupech a na podlaze v řezu B-B



Obr. 6: Časový průběh svislých deformací měřených bodů v řezu B-B

3 ANALÝZA TMELÍCÍCH SEKUNDÁRNÍCH MINERÁLŮ

Pro definitivní rozhodnutí o reálných možnostech sanace podloží a rekonstrukce objektu byla provedena analýza tmelících sekundárních minerálů ze zásypu pod podlahou [2]. Pro dodatečné laboratorní zkoušky byl odebrán v boku sondy cca 10-20 cm nade dnem sondy vzorek o hmotnosti 8 kg. Vzorek odebral za přítomnosti zástupce majitele objektu P. Martinec a R. Čajka [1], [2].

3.1 Způsob zpracování vzorku

Vzorek byl ručně přebrán a odděleny volné kusy ocelářské strusky nad 5 mm, odseparovány byly hrudky lehce stmelené drti a prachu s částicemi cca pod 5-10 mm.

Byla provedena prohlídka a popis kusů tmavé ocelářské strusky, separace sekundárních minerálů na povrchu kusů černé ocelářské strusky a připraveny preparáty pro analytický rozbor.

Bylo provedeno rozstívání jemně stmelené prachovité hmoty ze zrn a prachu ocelářské strusky a manuální separace sekundárních minerálů ve tmelu stmelených částic, připraveny preparáty pro analytický rozbor a proveden vodný výluh z pracovité stmelené hmoty bez mletí a stanoveno pH výluhu.

Analytické práce a rozbor jsou provedeny pro každý materiál samostatně.



Obr. 7: Kopaná sonda uvnitř objektu pro odběr vzorků



Obr. 8: Analyzované vzorky strusky odebrané z kopané sondy v podloží stavby

3.2 Ocelářská struska kusovitá

Zrnitostně heterogenní materiál tvořený převážně kusy černé nebo šedé ocelářské strusky, často pórovité o velikosti zrn až do 25 cm, krystalické i semikrystalické, méně často sklovité. Na povrchu strusky v pórech jsou světlé, prachovité výplně krémově bílé barvy až do cca 6 mm. V hrubozrnné frakci jsou úlomky cihly, dinasů, hutní keramiky, betonu a slitků oceli. Sumární podíl cizorodých látek je ve vzorku cca 5%. Rozpad a objemové změny vykazuje z těchto cizorodých materiálů nejvíce hutní keramika a šamotové cihly.

Pomocí optické mikroskopie v procházejícím polarizovaném světle jsou na povrchu sklovitých zrn strusky ve výbrusu patrné tenké lemy hydratovaného struskotvorného skla. Mocnosti lze odhadnout (závisí na podílu krystalů gehlenitu a skla v konkrétním místě) na první desetiny až milimetry.

Infračervenou spektroskopií byly na povrchu kusové strusky zjištěny v pórech světlé, prachovité výplně krémově bílé barvy až do velikosti cca 5-6 mm.

Reakce výluhu je zásaditá (pH 8-9). Podle spektroskopické analýzy lze v tomto odseparovaném materiálu identifikovat produkt hydratace periklasu MgO na brucit $\text{Mg}(\text{OH})_2$ a jeho karbonatovaný produkt magnezit MgCO_3 . Jedná se o minerály mnohonásobně zvětšující objem při hydrataci a karbonataci.

V separovaném vzorku z povrchu kusové sklovité strusky se objevují hydratované $\text{Ca}(\text{Mg})$ silikáty (CSH) spolu s brucitem $\text{Mg}(\text{OH})_2$ a opálovou hmotou opět při hydrataci zvětšující objem druhotného, hydratovaného minerálu.

3.3 Jemně zpevněná prachovito-písčítá hmota mezi kusovou ocelářskou struskou

Prostor mezi kusy ocelářské strusky je vyplněn velmi proměnlivě tmelenou drobně úlomkovitou až prachovito-písčitou hmotou. Při separaci lze oddělit tmavá, černošedá zrna. Při separaci po šetrném rozdužení stmeleného materiálu lze odseparovat :

- kusy a úlomky šedé až černé ocelářské strusky s bílými sekundárními minerály,
- písčítá a prachovitá zrna černá, šedá, často sklovitá z ocelářské strusky,
- nahnědlé až světle bělavě hnědé minerály v pracovité frakci.

Reakce výluhu je mírně kyselá až neutrální pH 6,1. Z mineralogického rozboru je patrné, že tmelem této prachovito-písčité mezerovité hmoty s úlomky ocelářské strusky nad 2 mm jsou sekundární minerály vzniklé hydratací a karbonatací ocelářské strusky a to především brucit a karbonát (magnezit a kalcit) a méně pak opálu podobná hmota a CSH na povrchu zrn především sklovité ocelářské strusky.

Infračervenou spektroskopií byla zjištěna

- písčítá až prachovitá zrna černá, šedá, často sklovitá z ocelářské strusky. Podle spektroskopické analýzy lze v tomto odseparovaném materiálu identifikovat převážně gehlenit nebo Ca -silikáty se slabou hydratací na CSH tj. opět narůstá objem novotvořené fáze na povrchu zrn.
- nahnědlé až světle bělavěhnědé minerály v prachovité frakci. Tyto minerály lze odseparovat gravitačně jen manuálně na papíru a to s různým podílem zrn ocelářské strusky.

V odseparované frakci s krémově světle nahnědlou barvou dominují produkt hydratace periklasu MgO na brucit $\text{Mg}(\text{OH})_2$ a jeho karbonatizovaný produkt magnezit MgCO_3 spolu s kalcitem $\text{Ca}(\text{CO}_3)$.

Dále jsou přítomny hydratované silikáty jako CSH ze strusky. Jedná se o minerály mnohonásobně zvětšující objem při hydrataci a karbonataci.

U šedých pracovitých frakcí narůstá podíl zrn ocelářské strusky s více či méně intenzivní hydratací na CSH. Asociace druhotných minerálů však zůstává zachována.

4 VYHODNOCENÍ ANALYTICKÉHO ROZBORU

Ve struskovém zásypu v místě dna sondy v podlaze prodejny v 1. podlaží objektu nemocnice tvořeném především netříděnou tmavou ocelářskou struskou byly prokazatelně zjištěny sekundární minerály spojené s hydratací a karbonatací ocelářské strusky v prostředí se zvýšenou vlhkostí a za přítomnosti CO_2 za příznivých teplot (cca nad 10°C). Všechny tyto sekundární minerály prokazatelně mnohonásobně mění svůj objem a vedou k celkovým objemovým změnám v zásypu. Tento proces je nerovnoměrný, pomalý, ale trvalý. Podle provedených rozborů a stanovení minerálních asociací nebyl tento proces ukončen.

Kvantifikace procesu zvětšování objemu materiálu v zásypu by si vyžádala detailnější rozborů různých frakcí zásypu za nepoměrně vysokých nákladů. Zastavení hydratačních a karbonatačních procesů přímo v zásypu je podle současných možností a zkušeností obtížné ba nemožné (= úplné vysušení zásypu, neboť pára je ještě účinnějším hydratačním médiem než voda, a zbavení vzduchu v zásypu CO_2).

5 PŘÍČINY PORUCH A NÁVRH OPATŘENÍ

Z dosavadních výsledků měření deformací, charakteru trhlin, revize kanalizace a laboratorních rozborů strusky vyplývají tyto závěry:

- poslední naměřené přírůstky deformací prokazují, že bobtnání strusky v podloží pokračuje a dle naměřených závislostí nedochází k ustálení pohybů,
- při poslední prohlídce stavu trhlin v posuzovaném objektu bylo zjištěno, že se trhliny zvětšují, vlivem narůstajícího svislého tlaku dochází k deformaci podlah, drcení příčkového zdiva, zárubní a dveří,
- svislé tlaky od bobtnající strusky se již přenáší i do nosné konstrukce montovaného skeletu, dochází k deformacím (vyboulením) svislých sloupů, stropní konstrukce a následně i výplňového zdiva v 1.NP,
- struskový podsyp pod podlahou vstupního objektu je tvořen především netříděnou tmavou ocelářskou struskou, u které byly prokazatelně zjištěny sekundární minerály spojené s hydratací a karbonatací ocelářské strusky v prostředí se zvýšenou vlhkostí a za přítomnosti CO_2 za příznivých teplot (cca nad 10°C),
- všechny tyto sekundární minerály prokazatelně mnohonásobně mění svůj objem a vedou k celkovým objemovým změnám v zásypu. Tento proces je nerovnoměrný, pomalý ale trvalý. Podle provedených rozborů a stanovení minerálních asociací nebyl tento proces ukončen,
- podle výsledků kamerové zkoušky a údajů ve zprávě o revizi kanalizace je ležaté kanalizační potrubí pod podlahou v řadě míst porušeno trhlinami s diagnostikovaným únikem splaškových vod,
- vzhledem ke shodě polohy hlavní větve ležaté kanalizace s oblastí s maximálními deformacemi podlah je zřejmé, že chemické změny a bobtnání strusky v podloží je sekundárně způsobováno unikající splaškovou vodou,
- primární porušení kanalizace bylo způsobeno buď ihned při výstavbě, nebo později vlivem vzrůstajícímu tlaku v podloží od bobtnání strusky.

Rozsah poruch podlah a přiček již dosáhl takové intenzity, že je ohrožena únosnost a stabilita výplňového zdiva podle mezního stavu únosnosti (porušení zdiva) a mezního stavu použitelnosti (deformace podlah) ve smyslu platných ČSN EN [4], [5] a [6]. Uvedené poruchy v současné době ohrožují bezpečnost, zdraví a v extrémním případě i životy zaměstnanců či pacientů (upadnutí části zdiva, příčky, zlomení končetin na nerovném a užívání nevyhovujícím povrchu, ale i počínající deformace nosného skeletu).

6 ZÁVĚR

S ohledem na tyto zjištěné skutečnosti lze konstatovat, že podlahové konstrukce, příčkové zdivo, ale již i nosné konstrukce montovaného skeletu se nacházejí v havarijním stavu a s ohledem na bezpečnost je nutno v uvedených prostorách ukončit provoz.

Pro spolehlivé užívání vstupního objektu v budoucnu je nutno zamezit objemovým změnám struskového podsypu a únikům splaškových vod do podloží. S ohledem na zjištěné skutečnosti je nereálné stabilizovat bobtnající strusku a zamezit dalšímu nárůstu deformací. Rovněž porušené kanalizační potrubí nelze opravit bez jeho vybourání. Proto je nutno bezodkladně provést tato opatření:

- ukončit provoz v dotčených provozech, zejména v prodejně potravin, skladech a dalších deformacemi dotčených prostorách,
- odpojit všechny zazděné sítě a vybourat veškeré porušené příčky, kterými se přenáší bobtnající tlaky z podloží do celé nosné konstrukce a již způsobují jejich poruchy,
- provést diagnostiku, vyhodnotit deformace a trhliny vzniklé v montovaném železobetonovém skeletu celého objektu a posoudit jeho statickou únosnost a použitelnost,
- odstranit porušenou ležatou kanalizaci a provést kanalizaci novou,
- vytěžit objemově nestálý struskový podsyp a provést podklad z tříděného a objemově stálého podsypového materiálu (šterku, šterkopísku, recyklovaného betonu) od certifikovaného dodavatele,
- provést nové podlahové konstrukce, příčkové zdivo a rozvody sítí s možností svislých dilatací.

Z provedených sond v objektu a rozboru příčin poruch bylo rovněž zjištěno, že deformacím a poruchám nezamezila ani tepelná izolace z pěnového polystyrenu uložená v kluzné spáře podlah. Projevy objemově nestálé ocelářské strusky v násypech byly rovněž zaznamenány při výstavbě pozemních komunikací [3].

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl realizován za podpory Ministerstva průmyslu a obchodu, program TIP projekt číslo FR-TI2/746 - Reologická kluzná spára s teplotně řízenými viskoelastickými vlastnostmi a částečné podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti Centra integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí CIDEAS.

LITERATURA

- [1] Čajka, R., Posouzení příčin vzniku trhlin a poruch ve vstupním objektu Fakultní nemocnice v Ostravě Porubě. Závěrečná zpráva AR-0715, ARMING spol. s r.o., (2009).
- [2] Martinec, P., Analýza tmelících sekundárních minerálů ze zásypu pod podlahou v prodejně v 1. podlaží FN v Ostravě – Porubě. Dílčí zpráva, Ostrava, (2009).
- [3] Kresta, F., Použití ocelářské strusky a dalších vedlejších produktů hutní výroby železa v zemním tělese pozemních komunikací. *Silniční obzor*, roč. 72, s. 15 – 20, (2011).
- [4] ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings ČNI 11/2006.
- [5] ČSN EN 1996-1-1 (73 1101) Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby – Pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce. Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures ČNI 05/2007.
- [6] ČSN EN 1997-1 (73 1000) Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla. Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules, ČNI 9/2006.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D., Institut environmentálního inženýrství, Hornicko–geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

Doc. Ing. Karel Kolář, CSc., Experimentální centrum, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.